

Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse

Bengt Dahlström



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet.

SV-Utveckling (fd VA-Forsk) initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

SV-Utveckling styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje Kommun
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Lena Söderberg	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varbergs Kommun
Carina Färm	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Daniel Hellström	Svenskt Vatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Mats Rostö	Gästrike Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand	Norsk Vann, adjungerad

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse
Title of the report:	Rain Intensity – a cloud physical contemplation
Rapportnummer:	2010-05
Författare:	Bengt Dahlström (mobil: +46 (0)73 073 2121, e-post: bengt.dahlstrom@swipnet.se)
Projektnummer:	29-103
Projektets namn:	Dimensionerande regnintensitet – klimatologisk formel för konvektivt regn samt kontinuerligt frontregn
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling
Rapportens omfattning	
Sidantal:	42
Format:	A4
Sökord:	Nederbörd, regn, klimat, regnintensitet, intensitets-varaktighetskurvor, återkomsttid, formel, blockregn, konvektivt regn, frontregn
Keywords:	Precipitation, rain, climate, rain intensity, Intensity-Duration-Frequency curves, IDF-curves, return period, formula, design rainfall, convective, frontal
Sammandrag:	En formel för dimensionerande regnintensitet har utvecklats baserad på molnfysik. Formeln har verifierats med oberoende data. Formeln har även diagnostisk potential för att klassificera regnintensitetsklimat. En europeisk datainsamling av regnintensitet har utförts från vädertjänsterna.
Abstract:	A formula for rain intensity statistics has been developed based on cloud physics. The formula has been verified with independent data. The formula has also diagnostic potential for classification of rain intensity climate. A European data collection of rain intensity has been achieved from the weather services.
Målgrupper:	Kommuner, VA-förvaltningar, konsulter, vägförvaltningar
Omslagsbild:	Cumulonimbus Capillatus. Foto: Bengt Dahlström
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2010
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

En av de mest omfattande studierna av regnintensitet i Sverige utfördes av Falk (1951) i samband med projektering av Stockholms storflygplats. En ansats för att förstå hur regnintensitetens klimat fördelas över Sverige utfördes av Dahlström (1979). Vid dessa studier fanns tillgång endast till ett fåtal orter med data i form av analoga regnregistreringar, d.v.s. i pappersform, tillgängliga.

Under de senaste fem åren har ett omfattande datamaterial över regnintensitet insamlats och bearbetats i Sverige. Dels har regndata med hög tidsupplösning från ett antal kommuner insamlats och bearbetats i arbeten av Hernebring (2006, 2008, 2009) och dels har data från SMHIs automatsstationer börjat bearbetas, Dahlström (2006) och Waern (2009). Bengtsson (2008) har analyserat serier av dygnsnederbörd för ett antal orter i södra Sverige.

Föreliggande projektet har haft inriktningen att utveckla en formel, som kan användas för att beräkna dimensionerande regnintensitet i Sverige för varaktigheter från 5 minuter och upp till ett dygn. Det material i form av blockregnsdata, som skapats av ovanstående initiativ har varit av betydelse för utveckling och verifikation av den utvecklade ekvationen för dimensionerande regnintensitet.

Dimensionering för regnintensitet gäller investeringar som ska fungera under flera decennier och i många fall även under flera sekel. Inte minst av denna anledning behöver de riktlinjer som finns om dimensionering av allmänna avloppsledningar i Svenskt Vattens skrift P90 (2004) revideras. Det kan inte uteslutas att det klimat som finns i Centraleuropa på sikt kommer till Sverige i samband med att klimatet kan ändras.

En del av projektets fokus har därför varit att ta fram regnstatistik från det övriga Europa. För detta har ett brev med begäran om statistik över regnintensitet formulerats och skickats iväg till 26 europeiska värdetjänster. Ett stort antal länder har skickat begärda data. Denna insats har inte rymts inom Projektets budget, men tack vare utmärkt assistens från Svenskt Vattens kansli med utskick och mottagande av e-post, brev m.m., har denna insamling av europeiska data över regnintensitet kunnat genomföras.

Det är en förhoppning att Projektets resultat ska vara ett incitament som kan leda till bättre kunskap om det svenska, men även det europeiska, klimatet rörande häftiga och rikliga regn.

Projektet har genomförts med en referensgrupp bestående av Claes Hernebring och Gilbert Svensson, båda DHI, Göteborg.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Inledning	8
2 Dimensionerande regnintensitet – utveckling av formel	9
2.1 Intensiva och rikliga regn – allmän karakteristik	9
2.2 Dimensionerande regnintensitet – väsentliga faktorer, betraktelser och utgångspunkter	10
3 Utveckling av formel	13
3.1 Konvektivt regn	13
3.2 Betraktelse: vilka kompletterande komponenter är nödvändiga?	14
3.3 Uttryck för konvektivt regn och lågintensivt regn	15
3.4 Betraktelse: koppling till regnintensitetsdata	15
4 Studie av tillgängligt dataunderlag för anpassning och verifikation av formeln	17
4.1 Studie av olika dataset	17
4.2 Uppdelning av dataset för anpassning samt för verifikation av formeln	19
5 Anpassning av formeln till regnintensitetsdata	20
6 Verifikation mot oberoende regnintensitetsdata	23
7 Den utvecklade formeln – sammanfattning	25
8 Test av formeln på några europeiska stationer	26
8.1 Sammanfattning: Regnintensitet – utländska orter.	31
Referenser	32
Bilagor	33

Sammanfattning

Varje år uppstår på någon plats eller region stora skador och kostnader i form av översvämningar till följd av kraftigt eller extremt regnande. Särskilt utsatta är urbana områden, där VA-systemen ofta inte har tillräcklig kapacitet på grund av ekonomiska eller andra orsaker. I en del fall kan situationer uppstå, där kemiska föroreningar sköljs ut på ett okontrollerat sätt. I samband härmed kan även olägenheter för dricks-vattenförsörjningen uppstå.

För beslutsfattare och planerare är det därför av stort intresse att få tillgång till bästa möjliga information om maximala regnmängder i olika regioner och även att få bästa möjliga data om intensiva regn.

Många tillämpningar avser dimensionering av system för vattentransport eller vattenkvalitet, som medför investeringar, som ska fungera på en tidsskala från några decennier till 100 år eller mera framåt i tiden. För att optimera utformningen av dessa system är därför den framtida klimatutvecklingen av intresse. Det kan inte uteslutas, att klimatet i exempelvis Centraleuropa kan komma att så småningom flyttas norrut till Sverige i samband med global uppvärmning av jorden.

- Projektet har utvecklat en formel för att beräkna dimensionerande regnintensitet i Sverige för varaktigheter från 5 minuter och upp till 24 timmar. Formeln har utgått från en molnfysikalisk beskrivning av förlopp i kondensationsprocessen och sedan förenklats för att vara användbar för samhällsnyttiga tillämpningar.
- För dimensionering är det viktigt att ta hänsyn både till häftiga regn från konvektiva regnmoln och till mindre intensiva regn från frontmoln, där stora regnmängder kan uppmätas efter långvarigt regnande. Båda dessa mekanismer för regnbildning har integrerats i formeln.
- Parametrarna i formeln har bestämts från en del av tillgängliga blockregnsdata och resultatet har därefter verifierats mot andra, oberoende data, med 98 % förklarad varians.
- Formeln kan även användas *diagnostiskt* för att klassificera regnintensitets klimat. Exempel visar hur formeln fungerar för ett urval europeiska orter. Den parameter som dominerar regnintensitetens klimat är knuten till formelns parameter α , som är kopplad till konvektionsskiktets höjd. I varmare länder innehåller atmosfären mera vattenånga och den vertikala mäktigheten av molnen ökar. Exempel visas som innebär dimensionerande regnintensiteter som är 18–35% högre än i Sverige.
- En del av projektets fokus har varit att ta fram regnstatistik från det övriga Europa. För detta har ett brev med begäran om statistik över regnintensitet formulerats och skickats iväg till 26 vädertjänster. Utfallet av denna förfrågan om data har sammanfattats och även med erfarenheter rörande vädertjänsternas respons.

Summary

Every year is some place or region subjected to large damages and costs caused by extreme rainfall and flooding. The problems are particularly large in urban areas where the urban sewer systems for economic reasons have not enough capacity. This fact leads to situations where impurities from industries and other sources are washed away in a not controlled way. In such cases there is also a danger for the fresh water supply.

For decision-makers and planners it is of great interest to get the best possible information regarding maximum rainfall in various regions and also best possible data on the frequency of intense rainfall.

A multitude of applications concerns the dimension and planning of water discharge and water quality systems that has a lifetime of some decades to 100 years ahead or longer. Consequently, to optimize these systems the potential future change of the climate is also of interest. The present rain intensity climate in Central Europe has potential to move north in connection with the global warming of the Earth.

- The Project has developed a formula for estimation of intense rainfall in Sweden with durations of rain from 5 minutes up to 24 hours. The formula is based on a cloud physical concept of the condensation process. This expression has then been simplified for being used with applications in practice.
- For the dimension of urban sewer systems it is important to take consideration to both convective rain clouds and to less intense rains from frontal clouds, where large amounts can occur after long lasting rainfall. These rain mechanisms for rain formation are integrated in the formula.
- The parameters in the developed expression have been determined from Intensity-Duration-Frequency statistics for some locations in Sweden. The resulting formula has then been verified by other independent data from other locations with 98 % explained variance.
- The formula can also be used diagnostically to classify the climate of rain intensity. Examples are given for some locations in Europe. The parameter that dominates the rain intensity climate is connected with the formula's parameter α , which is connected with the height of the convection layer. The atmosphere contains more water vapor in warmer countries and the vertical powerfulness increases. Examples are shown that means IDF-rainfall intensities that are 18–35 % higher than in Sweden.
- One part of the Project's focus has been to get rainfall statistics from other countries in Europe. A request of statistics on Intensity-Duration-Frequency ("IDF-data") of rain has been sent to 26 European weather services. The outcome of this data request is summarized together with experiences concerning the response from the weather services.

1 Inledning

Projektet har anknytning till en studie som utförts tidigare och som finns i en rapport av Bengt Dahlström (2006). Den ansats till formel, som presenterades i den rapporten har här helt reviderats och utvidgats. För fullständighetens skull återges i sektion 2 och 3 hela konceptet och härledningen av det nya uttryck, som framkommit i föreliggande Projekt.

I Claes Hernebrings rapport (2008, s. 6) konstateras följande: ”Jämförelser har gjorts mellan här publicerad regnstatistik i tabellform och andra generella samband. Samband enligt Dahlström (2006) stämmer väl för regnvaraktigheter 5 minuter upp till 2 timmar, men underskattar intensiteter för längre regn, 6–24 h, med 20–30% eller mer.”

Denna riktiga iakttagelse blev incitament till att formulera Projektet. Projektet har syftat till:

- a) Utveckling av en formel för dimensionerande regnintensitet, så att den, förutom kraftigt konvektiva regn, även ska täcka in relativt lågintensiva regn som, om de är långvariga, kan ge betydande regnkvantiteter.
- b) Eftersom formeln har koppling till molnfysikalisk klimatologi, är det intressant i ett klimatförändringsperspektiv att se, hur parametrarna i formeln varierar med andra klimat, t.ex. Sydtyskland. Det kan inte uteslutas att den globala uppvärmning som pågår även medför att klimatet i sydligare regioner än Sverige kan hamna på våra breddgrader. En förstudie av detta har därför inletts.

För a) ovan har den tidigare ansatsen till formel för dimensionerande regnintensitet reviderats och utvecklats, så att den täcker in såväl konvektiva regn som frontregn på tidsintervallet 5 minuter till 24 timmar.

För b) ovan var tanken att utnyttja en del tillgänglig information, som finns från några få orter i Europa. Emellertid visade sig detta underlag vara alltför bristfälligt och istället har en omfattande datainsamling från Västeuropeiska vädertjänster ägt rum. Denna typ av information består i intensitets-varaktighetskurvor för olika återkomsttider. Några tester av den utvecklade formeln har utförts på detta material. Det omfattande materialet har inte varit möjligt att analysera i högre grad i föreliggande Projekt utan finns tillgängligt för framtida insatser.

2 Dimensionerande regnintensitet – utveckling av formel

2.1 Intensiva och rikliga regn – allmän karakteristik

Allmän karakteristik av nederbördsbildning:

- Nästan all nederbörd är förknippad med att fuktig luft stiger, avkyls adiabatiskt och därigenom kondenserar. Hävning av luft kan ske exempelvis vid strömning uppför en bergssluttning ("orografisk" nederbörd, eller med ett mera adekvat ord "oreigen" nederbörd) eller uppför en frontyta. Nederbördsbildning är en utomordentligt komplex process och orsakas av mekanismer, som sträcker sig från den minsta skalan med vattenångemolekyler som huvudaktörer och upp till den makroskala, där atmosfärssystem som konvektiva kluster, fronter och lågtryck är aktiva.
- Särskilt hög regnintensitet uppkommer i samband med konvektiva regnceller, där varm luft stiger uppåt och avkyls. När ett sådant moln innehåller både iskristaller och molndroppar diffunderar vattnet från molndropparna till iskristallerna vid isövermättnad. Detta sker, eftersom vattenångemolekylerna är hårdare bundna till iskristallerna än till molndropparna. Iskristallerna tillväxer snabbt. Förklaringen till denna typ av nederbördsbildning gavs tidigast av Bergeron (1928, se även 1959). Ofta initieras nederbördsbildningen i dessa moln, när den övre delen av molnet isas och en form, som liknar ett "städ" bildas (jämför bilden på omslaget till denna rapport). De konvektiva cellerna uppträder ibland isolerat, ibland i grupper och relativt ofta ligger de inbäddade i uppglidningsytorna till kall- och varmfronter.

En ytterligare process för regnbildning finns i form av sammansmältning ("koalescens") av droppar och med olika droppstorlekar blir fallhastigheten genom molnet olika och därvid kan en kedjereaktion uppstå som leder till effektiv utlösning av regn. Denna process är vanligare i tropiska områden.

Konvektiva regn är särskilt frekventa under eftermiddagarna sommartid, då cumulonimbusmoln bildas i samband med att jordytan värms upp av solstrålning och varma luftblåsar stiger uppåt i atmosfären. Ofta upphör de regnskurar, som då bildas efter någon eller ett par timmar. Mera sällan, och då i regel i samband med att flera regnceller samverkar dynamiskt med varandra, kan de konvektiva regnen fortgå under väsentligt längre tid, någon gång upp till ett dygn. De extremaste regnmängderna på en timme eller kortare tid uppkommer i allmänhet i situationer med kraftig konvektion, då atmosfärens instabilitet är hög och kraftiga vertikala rörelser förekommer i molnen. Skillnaden mellan temperaturen i molnet och omgivande luft är då hög, bl.a. på grund av att latent värme frigörs i samband med kondensationsprocessen.

- Frontregnet, ibland benämnt "*bakgrundsregnet*", uppkommer genom luftens långsamma strömning uppför en frontyta, varvid luften kyles och kondenserar och initierar och svarar för en lågintensiv regnprocess. De lågintensiva regnen kan ge stora kvantiteter, om de varar under ett eller flera dygn och får därigenom betydelse för dimensioneringsregnens storlek. Regn, som varar under längre tid än ett par timmar, är i regel knutna till frontregn eller lågtrycksområden, där hävning av luft sker över omfattande arealer. Frontregnen kännetecknas av låga nederbördsintensiteter, eftersom luften i regel hävs långsamt över fronterna och på grund av att kondensation är en långsam process.

I extrema fall, s.k. "Grosswetterlagen", där kvasistationära fronter ligger nästan stilla under flera dygn, kan extrema regnmängder uppmätas över stora arealer. Detta inträffar inte minst, när fronter bromsas upp mot bergskedjor som Alperna. De högsta dyngsmängderna i Europa med ca 1000 mm har uppmätts under sådana förhållanden, men även i Norge kan liknande situationer uppstå, när fronterna drar in från väster och bromsas mot Skanderna. Regnmängderna blir även då höga, men är inte lika extrema som Sydeuropas.

De mest extrema dygnsregnen i Sverige har visat sig uppkomma i samband med stationära lågtryck vid kusterna (särskilt den östra), där kontinuerlig tillförsel av vattenånga från underliggande hav är betydelsefullt. Konvergens av den horisontella strömningen mot kusten beroende på friktion och inverkan av kustens orografi kan då förstärka den vertikala strömningen och därmed regnens magnitud. Även faktorer som att en del av havsytan är istäckt och en del av den är öppen kan förstärka lågtryckens intensitet och därmed regnens ymnighet (utvecklat i "Sutcliffe Development Theory", Sutcliffe (1950).

2.2 Dimensionerande regnintensitet – väsentliga faktorer, betraktelser och utgångspunkter

Under de senaste decennierna har stora forskningsansträngningar lagts ned på högupplösta mesoskaliga/ regionala numeriska modeller för analys och förutsägelse av atmosfärsvariablernas tillstånd och utveckling ("very short range weather forecasting"). I fokus för detta har varit den rådande och kommande småskaliga väderutvecklingen under de kommande 12 timmarna.

- Trots dessa forskningsinsatser på den högupplösta tids- och rums-skalan synes *alltför få ansatser* rörande konvektion och nederbördsbildning ha företagits med målsättning att utveckla bra planeringsunderlag för *samhällssektorer, där skyfall och annan kraftig nederbörd är väsentlig*.

Väsentliga faktorer:

- För att moln ska ge nederbörd i större mängd erfordras, att kondensation sker via avkylning av fuktig luft. Avkylning sker genom

hävning av fuktig luft, s.k. adiabatisk avkylning. I samband med konvektion stiger volymer av luft, som är varmare än omgivningen och avkyls adiabatiskt, d.v.s. avkylning i samband med att luftens tryck minskar.

- Lyftkraften vid konvektion blir kraftigare ju större temperaturskillnaden är mellan molnluften och omgivande atmosfär. Kondensation och frigörande av latent värme medför, att lyftkraften kan öka. Kondensation är därför fundamental för efterföljande nederbördsbildande processer. Ett mått på hur kraftig konvektionen är kan vara hur hög vertikal mäktighet, som molnet har. På svenska breddgrader sker i regel konvektiv regnbildning enligt Bergerons iskärneteorin. Denna regnbildning sker emellertid efter det att kondensationsprocessen inletts och det kan därför som en första approximation av den komplexa regnbildningen räcka med att i första studera kondensationsprocessen i samband med konvektion.
- När torr luft i omgivningen blandas med den uppstigande luften hämmas konvektionen, s.k. entrainment. Detta är en väsentlig process och många studier har genomförts för att hitta bra lösningar på hur denna blandningsprocess bäst ska formuleras för tillämpning i numeriska modeller.
- Konvektionen påverkas även av hur vädersituationen ser ut på en större skala. En konvergerande strömning kan exempelvis medföra en initiering och förstärkning av konvektion, så att luftvolymen hävs tillräckligt för att kondensationsprocessen ska inledas och fortsätta. I denna studie har emellertid inte några prediktorer hämtats från det synoptiska väderläget eller kopplats till fysiografiska faktorer.

Några betraktelser:

- Även om mekanismerna bakom regnbildning kan beskrivas i en konceptuell och detaljerad modell finns huvudproblemet kvar: hur ska en sådan modell kunna förenklas, så att den kan få praktisk användning för exempelvis samhällets behov av planering och dimensionering i samband med kraftiga regn?
- Även om ett regngivande moln kan modelleras, så att det ger realistiska regnmängder består ett av huvudproblemen i att översätta, vad detta innebär klimatologiskt för en given ort: Hur ska sannolikheten för att olika regnhändelser uppkommer kunna beskrivas, även om mekanismerna i ett moln kan kvantifieras?
- Hur ofta kommer molnet att passera en viss ort och är det endast en del av molnet, som då hamnar över orten ifråga? Detta problem kan givetvis hanteras teoretiskt med sannolikheter, men i föreliggande rapport kommer resultatet fram direkt via tolkning av mätdata.

Utgångspunkter:

1. Idén, som utvecklas i följande avsnitt, har varit att utveckla en formel för dimensionerande regnintensitet från ett *molnfysikaliskt resonans* och sedan förenkla det uppkomna uttrycket så långt möjligt. Förhoppningen har varit, att det resulterande uttrycket ska vara tillräckligt enkelt för att kunna tillämpas praktiskt och att de viktiga

komponenterna för nederbördsbildningens effektivitet därmed ska finnas kvar i *den förenklade ekvationen*. Den förenklade formel, som erhålls kan sedan användas för att anpassa modellens parametrar till regnintensitetsdata, i det här fallet *statistik i form av blockregnsdata* och bli ett *verktyg för dimensionering*.

2. Förutom rent kvantitativa estimat av exempelvis regnens storlek med 10 års återkomsttid på en ort är det även intressant att utnyttja formeln för att se, hur regnintensitetens nivåer ligger i *andra klimat*. Avsikten är därmed även att kunna utnyttja formeln som ett diagnostiskt *verktyg för att klassificera klimat i regnintensitetsnivåer*.

3 Utveckling av formel

3.1 Konvektivt regn

En enhetsvolym luft med höjden Δz betraktas. Det totala vattenånga-innehållet blir då

$$\rho r \Delta z, \text{ där}$$

r är kvoten mellan massan vattenånga och massan torr luft

ρ är tätheten hos torr luft.

Från lagring av vatten i moln bortses och kondensationshastigheten blir då densamma som regnintensiteten (= pseudoadiabatiskt antagande). Om R' betecknar regnintensiteten, som härrör från det studerade atmosfärsskiktet blir, eftersom

$$\frac{dr}{dt} < 0 \quad R' = -\rho \frac{dr}{dt} \Delta z$$

Vertikalhastigheten kan uttryckas som

$$w = \frac{dz}{dt}$$

och om vi försummar ändring tjockleken av skiktet kan föregående ekvation uttryckas:

$$R' = -\rho \frac{dr}{dz} \Delta z$$

Det gäller att $r = 0,622 \, e / p - e$, där e är partiella trycket för vattenånga och $p - e$ på motsvarande sätt är differensen mellan lufttrycket p och e , d.v.s. partiella trycket för torr luft. Uttrycket fås genom att utnyttja tillståndsekvationen på den fuktiga och den torra luften och sedan bilda kvoten mellan dem. Värdet "0,622" erhålls eftersom kvoten mellan gaskonstanten för torr luft (0,287 joule $g^{-1} \, ^\circ K^{-1}$) och fuktig luft (0,461 joule $g^{-1} \, ^\circ K^{-1}$) luft är 0,622. Vi bildar dr/dz och får:

$$\frac{dr}{dz} = \frac{0,622}{(p-e)^2} \left[(p-e) \frac{de}{dz} - e \frac{d(p-e)}{dz} \right]$$

Förenklat erhålls därför som approximation:

$$\frac{d(p-e)}{dz} = \frac{\delta p}{\delta z} = -\rho g$$

Med tillståndsekvationen för torr luft: $p - e = RT\rho$, där T är lufttemperaturen och R är gaskonstanten för torr luft erhålls:

$$R' = \frac{0,622}{RT} \left[\frac{de}{dz} - \frac{eg}{RT} \right] w \Delta z \quad (1)$$

För mättade förhållanden bestäms vattenångetermerna (där e ingår) av temperatur och tryck. Därför kan regnintensiteten bestämmas om tjockleken av atmosfärsskiktet och vertikalhastigheten är kända.

Integration av ekvationen ovan för hela det mättade vertikala atmosfärs-lagret ger förenklat:

$$R' = \lambda w \Delta H \quad (2)$$

där R' är regnintensiteten, som bildas i atmosfärs-lagret, som omfattar höjden ΔH och λ representerar ett medelvärde av vattenångetermernas effekt i lagret.

Problemet består här främst i att uttrycket ovan innehåller den vertikala hastigheten, som är okänd.

Om ΔT betecknar temperaturöverskottet i luftvolymen, som hävs i förhållande till omgivningens temperatur, så är enligt den s.k. "Paketmetoden" för konvektion den kinetiska energin, se t.ex. Palmén-Newton (1969, p.417), för en volym mättad luft, som hävs från en nivå z_0 till en nivå z följande:

$$\Delta \left[\frac{w^2}{2} \right] = \int_{z_0}^z g \frac{\Delta T}{T} dz$$

av detta följer, att w är proportionell mot $\int \Delta T^{0.5} dz$. Ekvationen för R kan därför uttryckas:

$$R' \approx \lambda \Delta T^{0.5} \Delta H \quad (3)$$

Där ΔT betecknar medelvärdet av differensen i temperatur mellan luftpaketet och temperaturen av omgivande luft för det vertikala atmosfärsskiktet.

3.2 *Betraktelse: vilka kompletterande komponenter är nödvändiga?*

Uttrycket (3), $R' \approx \lambda \Delta T^{0.5} \Delta H$, ger regnintensitet som funktion av flytkraften i konvektionen samt molnets mäktighet. Ju högre flytkraft och ju större vertikal omfattning molnet har, desto större blir regnintensiteten, vilket verkar logiskt.

Fråga: Vad händer under regnets varaktighet?

- Hittills har ett konvektivt regngivande moln betraktats. Molnet färdas med vinden i höjden och om vi fokuserar på vad regnintensiteten blir vid en viss ort på jordytan, kommer regnet endast att pågå under den tid, som molnet passerar orten ifråga. Det kan även visa sig, att endast perifera delar av molnet passerar över denna ort. Regnmängden blir därför mindre än vad uttrycket anger och minskar med tiden på grund av regnmolnets transport.
- Till detta kommer även inverkan av entrainment, d.v.s. att molnet omblandas med torr höjdluft från omgivande atmosfär och försvagar därigenom den regngivande processen. Entrainment påverkar hela molnet där konvektionen äger rum, d.v.s. även i den "innersta delen", där konvektionen är kraftigast. I de inre delarna kan den hämmande faktorn bestå i skillnader i hastighet i den uppåttstigande luften och därvid minskas kraften i en del luftpaket, som hävs. I de yttre delarna är entrainment större än i kärnan av molnet, eftersom här finns dels mera "stillastående" luftpartier, dels även torr luft, som minskar vattenångehalten i luftpaketen, som hävs. Ovanstående gäller i princip även i fall, där det är kluster av moln, som samverkar.

- För att ovanstående uttryck (3) ska inbegripa reduktion av regnintensitet med tiden, behövs därför en komplettering med en funktion, som avtar med regnets varaktighet.

Lågintensiva regn – frontregn

I fallet med regn från frontmoln kan det förekomma ett monotont regnande, som kan pågå tämligen oförändrat i ett dygn eller i vissa fall flera dygn.

Regnmodellen bör innehålla en komponent, som inte är avtagande (= en "frontregnskomponent").

3.3 Uttryck för konvektivt regn och lågintensivt regn

Baserat på slutsatserna 1 och 2 ovan kompletteras uttryck (3) med följande uttryck E , som är att betrakta som en första gissning av hur uttrycket för konvektiv regnintensitet ska kompletteras för att få allmän giltighet.

$$E = c \ln(\Delta t) / \Delta t^{\kappa} + k$$

Där

c är en skalfaktor,

Δt varaktigheten av regnet,

κ en exponent, som reglerar avtagandet från regnets maximala nivå samt

k , som är en konstant, som är densamma som frontregnets långvariga genomsnittliga intensitet.

Därmed blir uttrycket för regnintensitet:

$$R' \approx \lambda c \Delta T^{0.5} \Delta H \ln(\Delta t) / \Delta t^{\kappa} + k \quad (4)$$

Uttrycket ger kondenserad nederbörd alstrad i ett mättat vertikalt skikt med höjden ΔH under inverkan av konvektionsfaktorn $T^{0.5}$ och regnets maximala intensitet minskas genom inverkan av en avtagande funktion av tiden Δt och exponenten κ . Till detta kommer konstanten k som avser ett monotont regnande, typ frontregn.

3.4 Betraktelse: koppling till regnintensitetsdata

Det är av intresse att relatera ovanstående uttryck till de uppmätta regnintensitetsdata. Bland problemen finns, att molnens höjd och den genomsnittliga skillnaden mellan molnets temperatur och temperaturen i omgivande atmosfär är okända storheter.

Den information, som finns tillgänglig är s.k. blockregnsstatistik, som ger intensitet-varaktighet och återkomsttid. Detta innebär, att de intensivaste delarna av regnen har valts ut, "blockregn", för specificerade varaktigheter, i det här fallet från 5 minuter upp till ett dygn.

De kraftigaste blockregnen har därefter sorterats fram och *återkomsttider*, τ_1 , för blockregn – från 1 månad upp till 10 år – har beräknats med tillhörande *varaktigheter* Δt_j .

Konvektionsfaktorn: Det som skiljer ett regn med kort återkomsttid, exempelvis 1 månad, från ett regn med lång återkomsttid, säg 10 år, är framförallt effektiviteten och kraften i konvektionen. Eftersom de kraftigaste regnen inträffar under sommarmånaderna är det skillnaden i konvektionskraft, som är den stora separerande faktorn. Det är därför naturligt, att i ekvationen ansätta konvektionstermen $\Delta T^{0.5}$ med termen återkomsttid τ_1 .

Det är naturligt, att varaktigheten Δt är tidigare definierad ersätts här med de diskreta värdena från data Δt_j .

Följande formel, där $\alpha' = \lambda c$, erhålls för regnintensiteten R_{ij} , med återkomsttid i och varaktighet j :

$$R_{ij} \approx \alpha' \tau_i^\beta \Delta H \ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa + k$$

Med $\alpha = \alpha' \Delta H$ erhålls det förenklade uttrycket:

$$R_{ij} \approx \alpha \tau_i^\beta \ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa + k \quad (5)$$

Uttrycket tar hänsyn till kondensationsprocessen och ska tolkas som att den regnbildning, som kommer efter denna process utlöses till väsentlig del genom den konvektionskraft, som skjuter upp molnet till iskärnenivån. Därtill tas hänsyn till kontinuerligt ”monotont” regnande.

- R_{ij} är dimensionerande regnintensitet för återkomsttid i och varaktighet j . Skalfaktorerna α och μ samt konstanter β , κ och k bestäms från data.
- α är en skalfaktor, där ΔH ingår. Via observationsdata är det sannolikt möjligt att dela upp α mera detaljerat som funktion av varaktigheten av regnet, vilket emellertid inte tas upp i föreliggande rapport. Vid långa återkomsttider är sannolikt ett mäktigare vertikalt skikt inblandat än vid kortare återkomsttider.
- τ_i^β representerar konvektionens flytkraft tolkad via återkomsttiden. Parametern ”återkomsttid” är inte exakt detsamma som temperaturöverskott i den hävda luften. Anpassning mot intensitetsdata kan emellertid ge svaret på hur realistiskt antagandet är.
- $\ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa$ är tillsammans med skalfaktorn α en ansats för att tolka minskningen av regnmängden på en bestämd ort under regnmolnet. Minskningen beror av att molnet, som färdas med höjdvinden och endast under viss tid passerar orten. Ibland passerar molnet på sidan om orten ifråga eller berör platsen endast med molnets perifera delar. Även omblandning av molnluft med torr omgivande höjdluft (entrainment) minskar regnintensiteten.

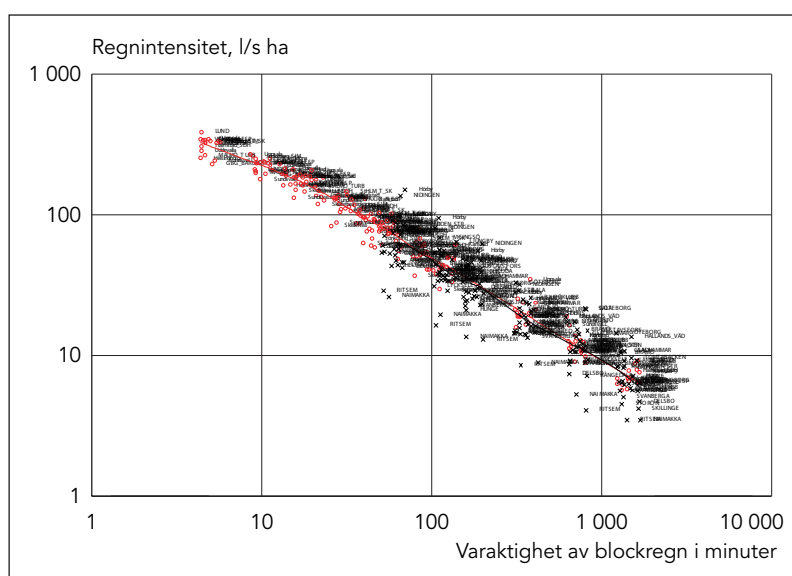
4 Studie av tillgängligt dataunderlag för anpassning och verifikation av formeln

4.1 Studie av olika dataset

För anpassning och verifikation utnyttjades blockregnstatistik dels från kommunala orter Hernebring (2006, 2008, och 2009), dels från SMHIs automatstationer, Dahlström (2006).

En översiktlig studie av dessa data utfördes.

Figur 4-1, Figur 4-2 och Figur 4-3 nedan ger resultat från denna jämförelse av de två dataseten.

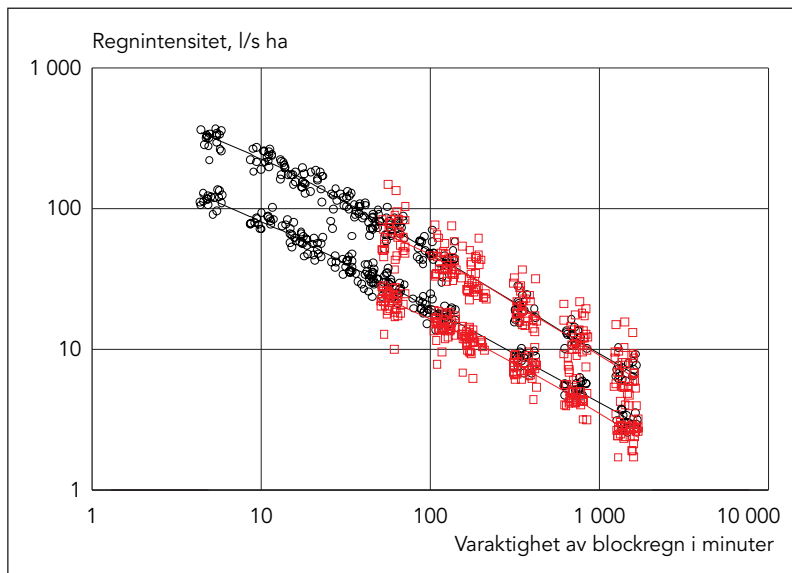


Figur 4-1 Illustration av kommundata och SMHI-data.

Figur 4-1 avslöjar i stort, att både SMHIs och kommunernas värden ansluter sig relativt väl. De namn, som kan utläsas är de namn, som avviker mest från genomsnittsvärdena. Bland de få namn, som kan läsas syns orterna Naimakka och Ritsem, båda SMHI-stationer. Det är troligt, att dessa värden är korrekta, men det faktum, att de finns i områden (norra Lappland), som är belägna i regnskugga och medför, att de hamnar lågt i diagrammet.

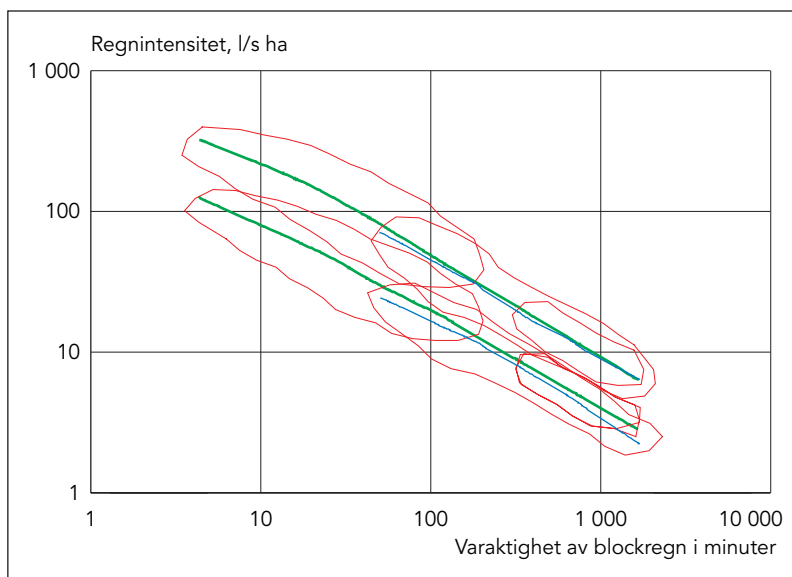
Även Figur 4-2 illustrerar de två dataseten, där de övre kurvorna för 10 års återkomsttid nästan sammanfaller. I de undre kurvorna, som avser 0,5 års återkomsttid, är det tydligare att SMHIs värden ligger lägre än värden baserade på data från kommunerna – denna skillnad illustreras tydligare i Figur 4-3 nedan.

Av Figur 4-3 framgår hur värden med 10 års återkomsttid fördelas mellan de två dataseten. SMHI-data i detta dataset begränsas till högst en timmes upplösning. Nyligen har Waern (2009) lyckats extrahera data från SMHIs automatstationer med 15 minuters upplösning. Ett



Figur 4-2 Figuren visar värden för 10 års (övre kurvan) och 0,5 års återkomsttid (undre kurvan) för kommundata (ringar) respektive SMHI-data (fyrkanter). Punkterna överlappar delvis varandra.

problem även här är att data är samplade vid fixa tidsintervall, vilket leder till problem vid analysen av data. Kommunernas data är i regel händelsestyrda, d.v.s. när det börjar regna, registreras även tiden för detta, vilket är en fördel.



Figur 4-3 Illustration av kurvor för regn med 10 års återkomsttid (övre kurvorna) och 0,5 års återkomsttid undre kurvorna. De rödfärgade slutna områdena visar var data är mest koncentrerade i diagrammet (baserade på "Epanechnikovs kurvor", kernel = 0,7). Gröna linjer visar genomsnittlig nivå på kommunernas data, SMHIs motsvarande kurvor är blå.

Av Figur 4-3 ovan framgår tydligt att SMHIs värden i genomsnitt ligger något lägre än kommunernas data. En anledning härtill är som tidigare nämnts att SMHIs data samlas in vid fixa tidpunkter, medan kommunernas data är händelsestyrda av regnet. Skillnaden i nivåer kan

även vara knutna till skillnader i instrumentens förmåga att mäta regn: SMHIs automatstationer har Geonor-mätare för registrering av nederbörd, medan kommunerna i regel har mätning via tippande skålar, s.k. tipping buckets.

4.2 Uppdelning av dataset för anpassning samt för verifikation av formeln

Eftersom tidsupplösningen är högre för kommunernas data än för SMHIs data beslöts, att i första hand utnyttja kommunernas regnintensitetsdata för anpassning respektive verifikation av de okända storheterna i formeln, ekvationen (5) på sidan 16.

Från de 16 kommunala orterna valdes slumpmässigt 8 stationer (grupp 1) ut för kvantitativ bestämning av de okända storheterna i den utvecklade formeln.

De övriga 8 stationernas (grupp 2) intensitetsdata utnyttjades som verifikationsmaterial. En översikt över hur dataseten utnyttjats framgår av nedanstående Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Översikt över hur tillgängliga dataset utnyttjats

Utvalda dataset: Karakteristik	Orter med data för anpassning av ekvation (5): "Grupp 1"	Orter med data för oberoende verifikation: "Grupp 2"	SMHI - automatstationer med data för oberoende verifikation, men mätning vid fixa klockslag ger lägre intensitetsvärden.
Varaktighet	5 min – 24 tim	5 min – 24 tim	60 min – 24tim
Återkomsttid	0,5 år – 10 år	0,5 år – 10 år	0,5 år – 10 år
Antal värden	585	604	1 740
Orter	Borås, Helsingborg, Kalmar, Karlstad, Skellefteå, Sundsvall, Uddevalla, Uppsala.	Göteborg-Barlastplatsen, Halmstad, Jönköping-SIM, Lund, Lundby, Malmö-Turbinen, Stockholm-Tsk, Växjö-Norra-Esplanaden.	Hörby, Skillinge, Helsingborg, Hallands Väderö, Ljungby, Växjö, Nidingen, Göteborg, Ullared, Rångedala, Tomtabacken, Horn, Gladhammar, Visingsö, Gårdsjö, Kolmården, Floda, Sala, Adelsö, Svanberga, Gustavsfors, Hamra, Delsbo, Hunge, Brämö, Åsele, Lycksele, Bjuröklubb, Arvidsjaur, Storön, Ritsem, Naimakka

5 Anpassning av formeln till regnintensitetsdata

De okända storheterna i uttrycket

$$R_{ij} \approx \alpha \tau_i^\beta \ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa + k \quad (5)$$

matchas mot blockregnsdata från kommunernas orter enligt grupp 1, Tabell 4-1, för bestämning.

Resultatet blev följande när R_{ij} uttrycks i l/s ha i formeln:

- Vid anpassning mot data visade det sig att skalfaktorn μ kan sättas till 1 och då elimineras.
- Faktorn $\alpha = 190$. Den ökade som beräknat något vid längre återkomsttider, eftersom faktorn även innehåller ett mått på höjden av kondensationsskiktet. För data från de svenska orterna kan i en första approximation denna variation försummas.
- Termen τ_i^β beskriver den konvektiva potentialen och representerar en förenklad form av den skillnad, som uttrycks med temperaturskillnaden mellan molnet och omgivande atmosfär. $\beta = 1/3$ blir värdet på koefficienten om τ_i uttrycks som varaktighet i enhet månader. Det har visat sig vid tester med data från olika orter, att β är en stabil exponent med liten variation kring värdet $1/3$. β ger indikation om atmosfärens instabilitet.
- Exponenten κ har betydelse för hur snabbt den konvektiva potentialen reduceras med tiden. Anpassning mot data bestämde κ till 0,98.
- Komponenten för det monotona regnandet, ”frontregnen”, blev vid anpassningen 2,0 l/s ha.

Formeln kan därför uttryckas som:

$$R_{ij} \approx 190 \tau_i^{1/3} \ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^{0,98} + 2 \quad (6)$$

Där

R_{ij} uttrycks i l/s ha

$\tau_i^{1/3}$ täcker återkomsttid 1 månad – 10 år (enhet: månad)

Δt_j täcker varaktighet 5 minuter – 24 timmar (enhet: minuter)

Funktionen finns i tabellerad i Bilaga C.

I Figur 5-1 illustreras storleken av konvektionsfaktorn τ_i^β

I Figur 5-2 illustreras reduktionsfaktorn $\ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^\kappa$

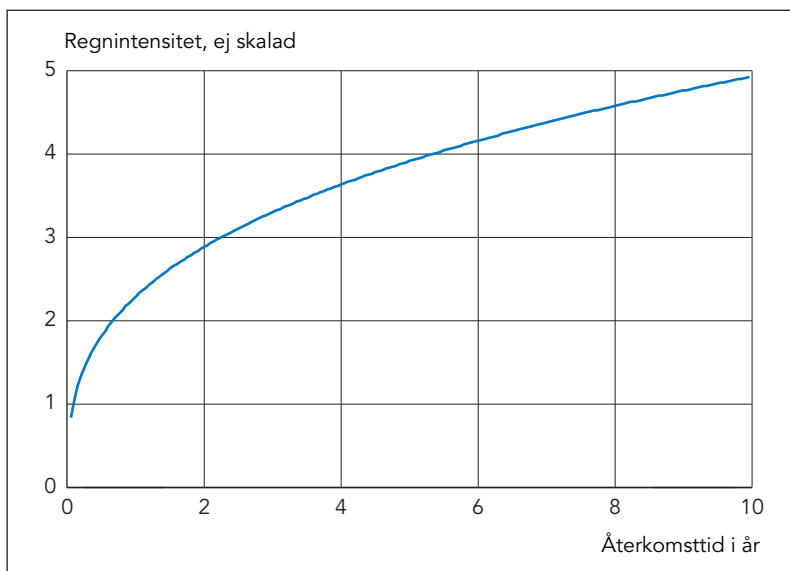
Figur 5-3 och 5-4 visar resultatet, när uttrycket

$$R_{ij} \approx \alpha \tau_i^\beta \ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa + k$$

anpassas mot verkliga regnintensitetsdata från (grupp 1).

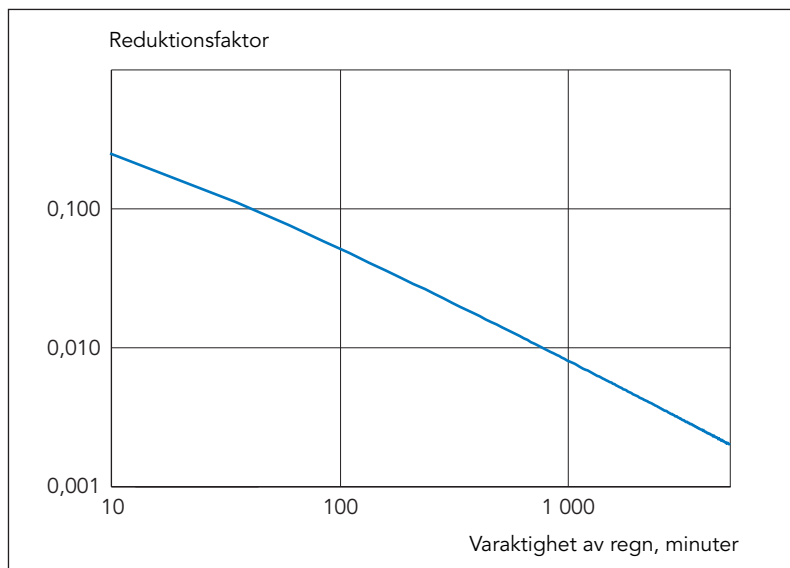
Figur 5-1

Figuren illustrerar konvektionsfaktorn τ_i^β där β har värdet 1/3. Notera att i formeln anges återkomsttidens enhet månad. β ger indikation om atmosfärens instabilitet.



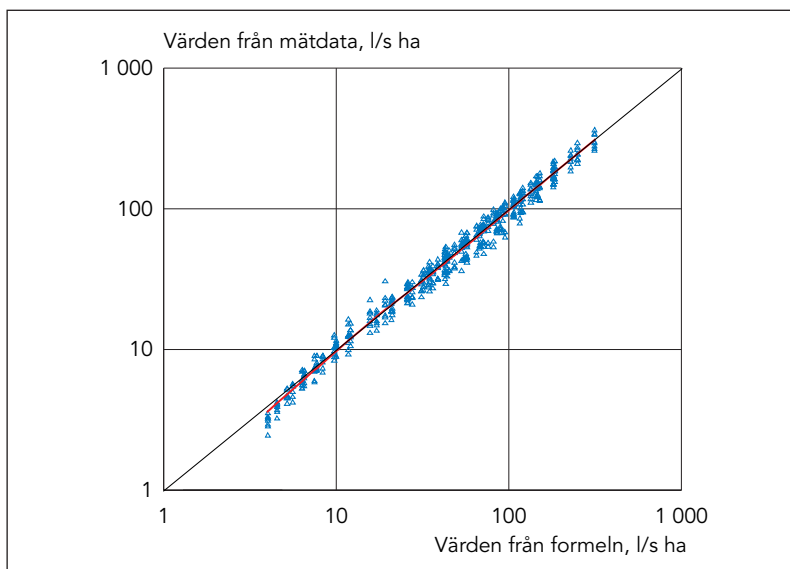
Figur 5-2

Illustration av reduktionsfaktorn $\ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^\kappa$. κ bestämdes till 0,98.

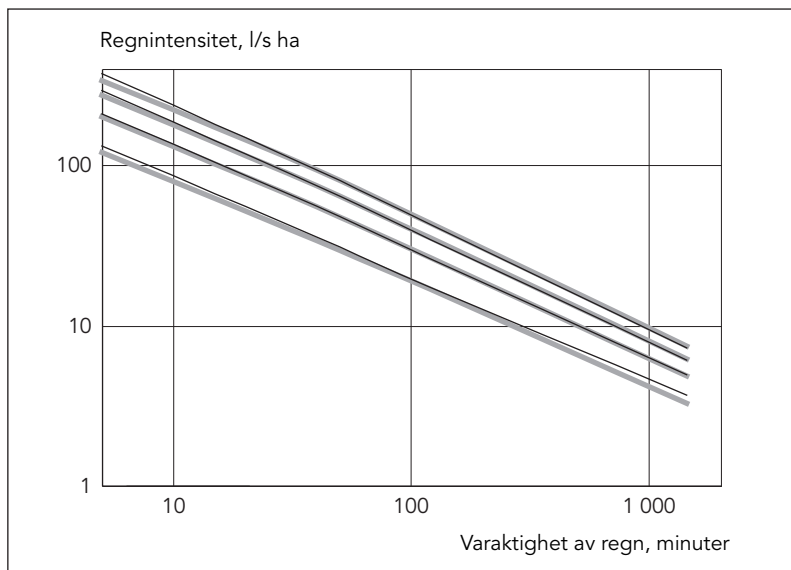


Figur 5-3

Resultat vid anpassning av formeln till 585 intensitetsvärden. Diagonalen i diagrammet representerar fördelning vid perfekt anpassning. Trianglarna visar hur intensitetsdata från grupp 1 fördelar sig i förhållande till den anpassade formelns värden.



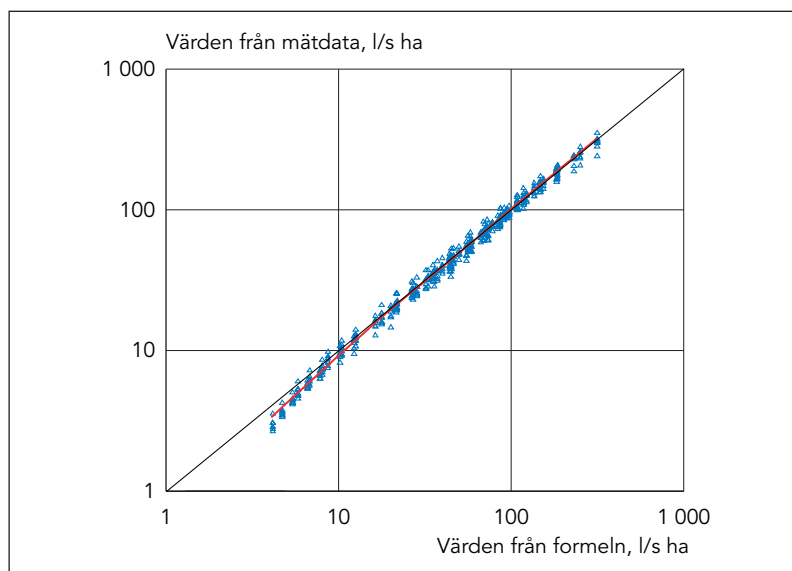
Den förklarade variansen vid anpassningen till samtliga data är 0,99:
 $\text{Råkvadratsumma} (1 - \text{Residualkvadratsumma} / \text{Total kvadratsumma})$.
 Ett annat mått är kvadraten på korrelationen mellan observerade värden och beräknade värden, vilket är drygt 0,97 för anpassningen.



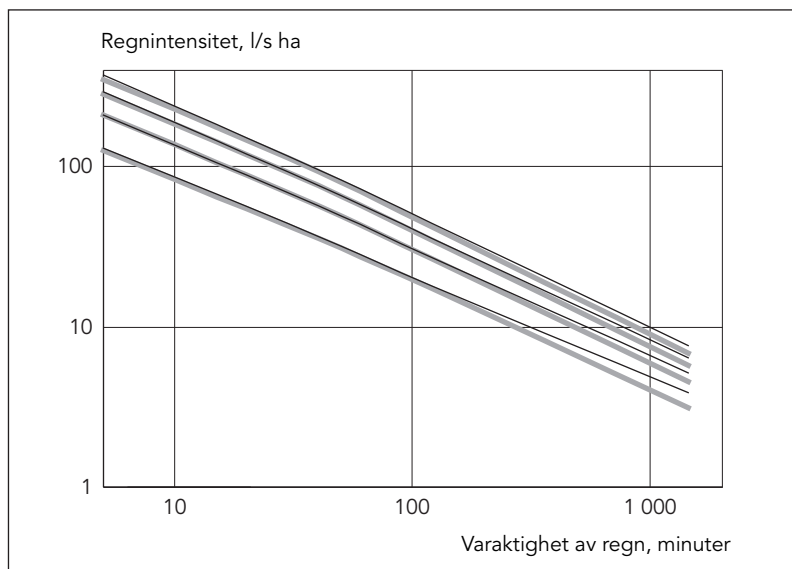
Figur 5-4 Resultat vid anpassning av formeln till 585 intensitetsvärden. De breda, grå linjerna visar mätdatas genomsnittliga fördelning för 0,5 års (understa linjen), 2 års, 5 års och 10 års (översta linjen) återkomsttid. De svarta linjerna, som nästan sammanfaller med de grå, ger motsvarande fördelning enligt formeln vid anpassning till grupp 1:s data.

6 Verifikation mot oberoende regnintensitetsdata

Anpassning mot oberoende data, kommundata från grupp 2, illustreras i Figur 6-1 och Figur 6-2



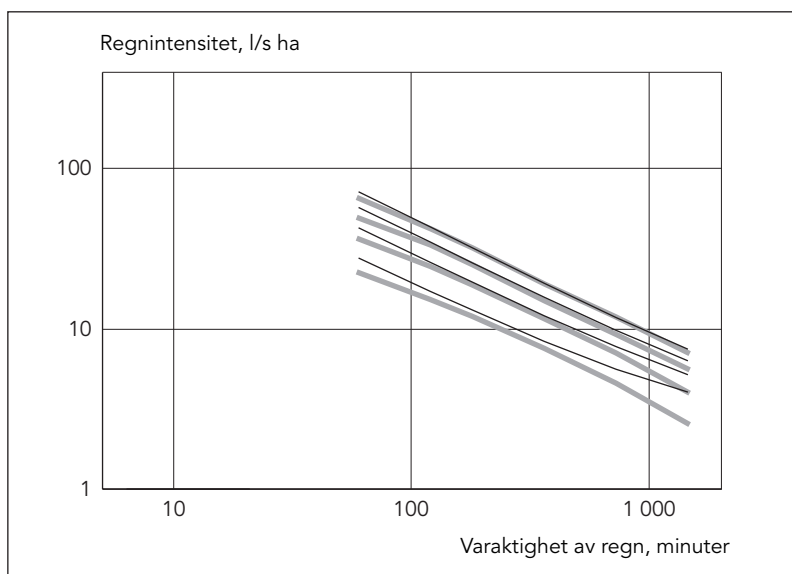
Figur 6-1 Resultat vid verifikation av formeln mot 604 oberoende intensitetsvärden. Diagonalen i diagrammet representerar fördelning vid perfekt anpassning. Trianglarna visar hur intensitetsdata från grupp 2 fördelar sig i förhållande till formelns värden.



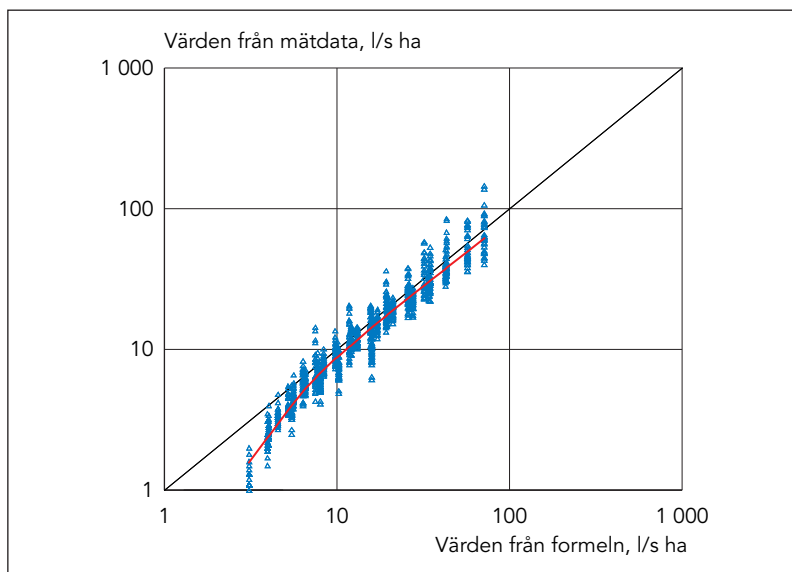
Figur 6-2 Test av formeln mot 604 oberoende intensitetsvärden. De breda, grå linjerna visar mätdatas genomsnittliga fördelning för 0,5 års (nedersta linjen), 2 års, 5 års och 10 års (översta linjen) återkomsttid. De svarta linjerna, ger motsvarande fördelning enligt formeln.

Anpassning mot oberoende data från kommunerna ("grupp 2") visar en förklarad varians om 0,98. Den utvecklade formeln testades även mot automatstationsdata från SMHI. Denna statistik över blockregn sammanställdes av Dahlström (2006).

Som framgår av Figur 4-3 ovan ger dessa något lägre värden än kommunernas data och den högsta tidsupplösningen är 1 timme och samplingen av data sker vid fixa tider. Differensen mellan formelns värden och SMHI-data beror delvis på SMHI-datas begränsning. Resultatet av testerna mot SMHI-data ges i Figur 6-3 och i Figur 6-4.



Figur 6-3 Resultat vid test av formeln med oberoende data från 1740 intensitetsvärden baserade på 32 automatstationer. De breda, grå linjerna illustrerar mätdata's genomsnittliga fördelning för 0,5 års (understa linjen), 2 års, 5 års och 10 års (översta linjen) återkomsttid. De svarta linjerna ger motsvarande fördelning enligt formeln.

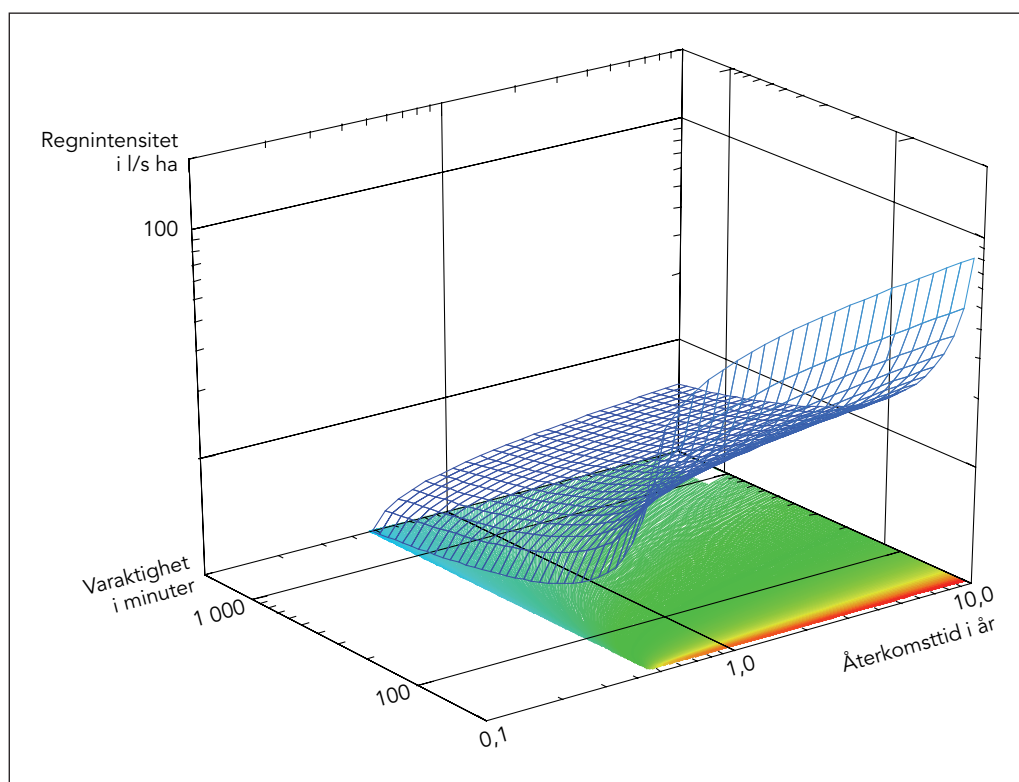


Figur 6-4 Resultat vid jämförelse av formeln med SMHI-data enligt föregående figur (1740 värden). Diagonalen i diagrammet illustrerar perfekt anpassning och den övriga linjen avser formelns värden. Trianglarna representerar SMHI-data.

7 Den utvecklade formeln – sammanfattning

En formel har utvecklats enligt en molnfysikalisk betraktelse och ingående storheter har bestämts med utnyttjande av data från grupp 1 i Tabell 4-1, i avsnitt 4. Formeln har verifierats med oberoende data från grupp 2 i Tabell 4-1 samt med data från SMHIs automatstationsnät, se även här Tabell 4-1. Figur 7-1 återger en tredimensionell bild av denna formel:

$$R_{ij} \approx 190 \tau_i^{1/3} \ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^{0,98} + 2$$



Figur 7-1 En 3-dimensionell illustration av formeln (6), på sidan 20, som även är speglad i bottenplanet, där röd färg indikerar högre intensitet och grönt → blått går mot lägre intensitet.

8 Test av formeln på några europeiska stationer

För illustration av vilka regnintensitetsnivåer, som finns i Central-europa valdes datamaterial över blockregnintensitet ut från ett par orter från den regnstatistik, som insamlats från de Västeuropeiska vädertjänsterna, se Bilagorna A och B.

Som utgångspunkt användes den formel som utvecklats, se sektion 3. Erfarenheterna sammanfattas i slutet av denna sektion.

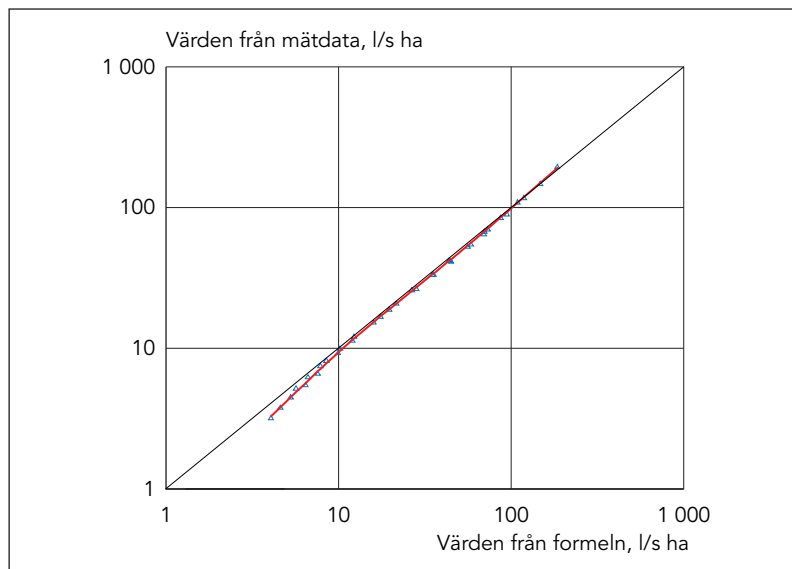
$$R_{ij} \approx \alpha \tau_i^\beta \ln(\mu \Delta t_j) / \mu \Delta t_j^\kappa + k$$

För svenska förhållanden erhöles följande värden, se sidan 20, ekvation (6):

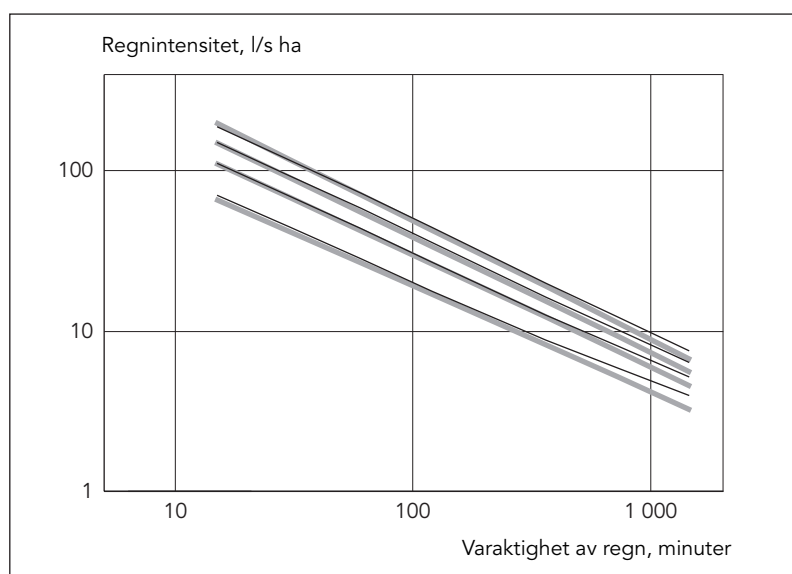
$$R_{ij} \approx 190 \tau_i^{1/3} \ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^{0,98} + 2$$

Exempel 1. Anpassning med blockregnsstatistik för London

För London erhöjls med ekvationen ovan värdet på parametern blev α 195,6 i stället för 190 för svenska förhållanden. En ökning med 2,9 procent. Övriga koefficienter hölls oförändrade vid anpassningen. Anpassningen var i det närmast perfekt: Förklarad varians vid anpassningen blev: 99,8%. Följande två figurer illustrerar resultatet.



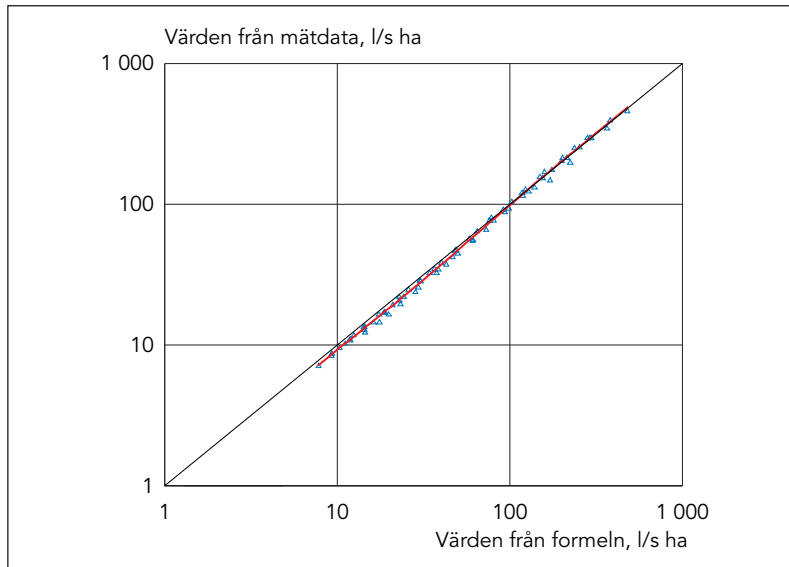
Figur 8-1 Anpassning till Londons värden.



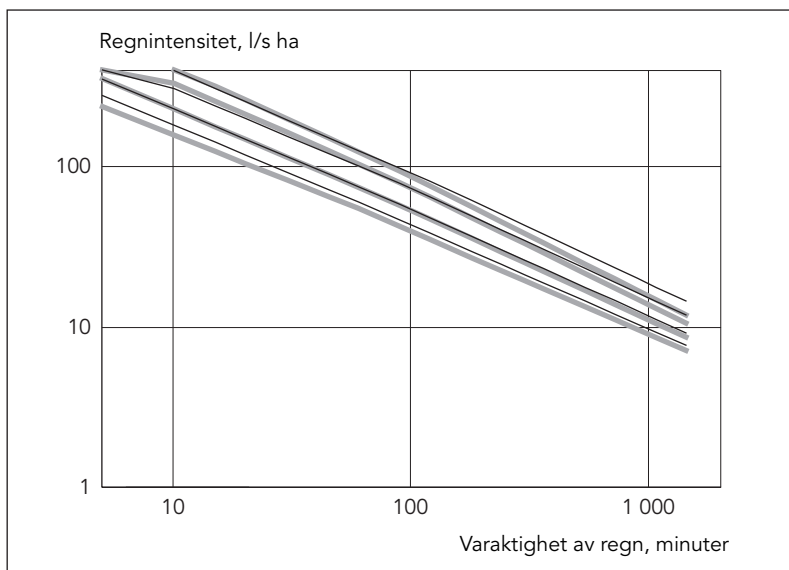
Figur 8-2 Anpassning till Londons värden. Figuren visar anpassningen mot Londons värden för återkomsttid 0,5 år (understa kurvan), 1 år, 5 år och 10 år (översta kurvan). Grå kurvor motsvarar mätdatas medelvärden och svart linje motsvarar formelns värde.

Exempel 2: Anpassning med blockregnstatistik för Ljubljana (Slovakien)

För Ljubljana erhålls värdet 261,6 för α och 0,91 för κ , medan övriga parametrar hölls oförändrade. Den förklarade variansen är hög: 99,4 %.



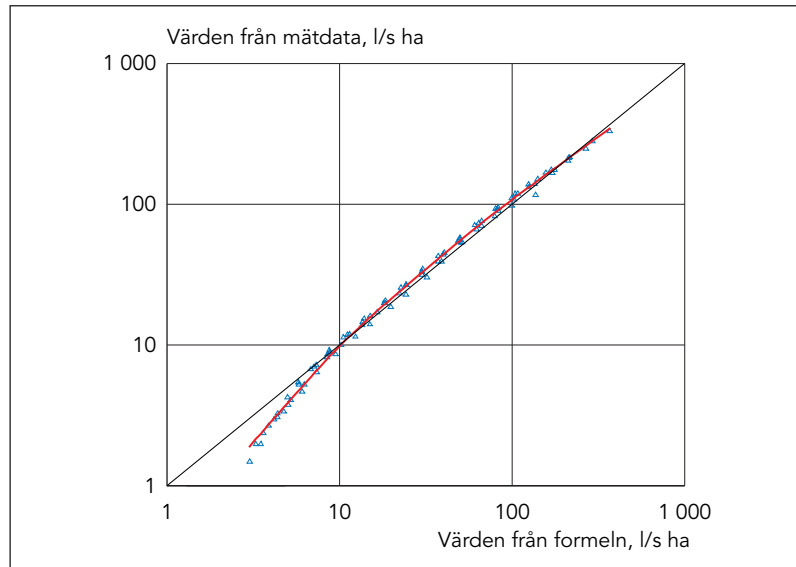
Figur 8-3 Anpassning till Ljubljanas (Slovakien) värden.



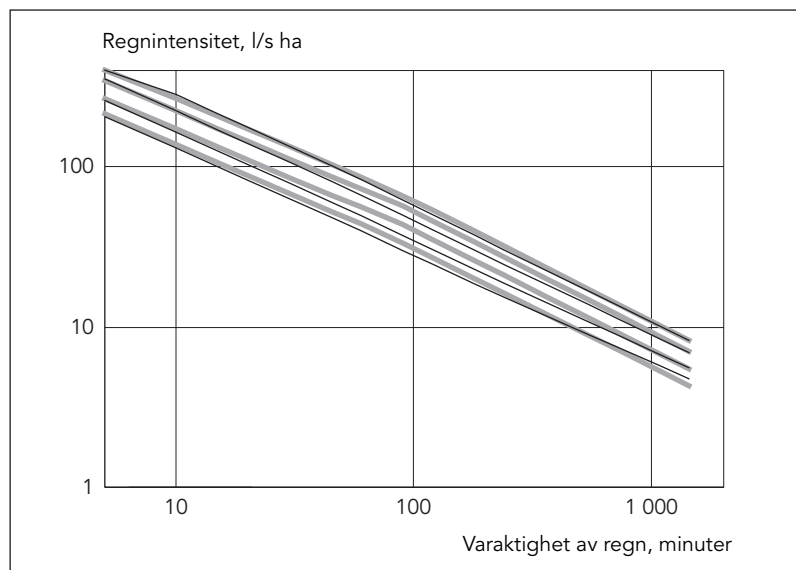
Figur 8-4 Anpassning till Ljubljanas (Slovakien) värden. Återkomsttider analoga med Figur 8-2. Grå kurvor motsvarar mätdatas medelvärden och svart linje motsvarar formelns värde.

Exempel 3: Anpassning med blockregnstatistik för Sydtyskland i gridpunkt (ca 48°N, 12°E)

Parametern α erhöll värdet 224,3. Övriga parametrar desamma som Sverigevärdena. Den förklarade variansen blev 99,4 %. Följande två figurer illustrerar anpassningen.



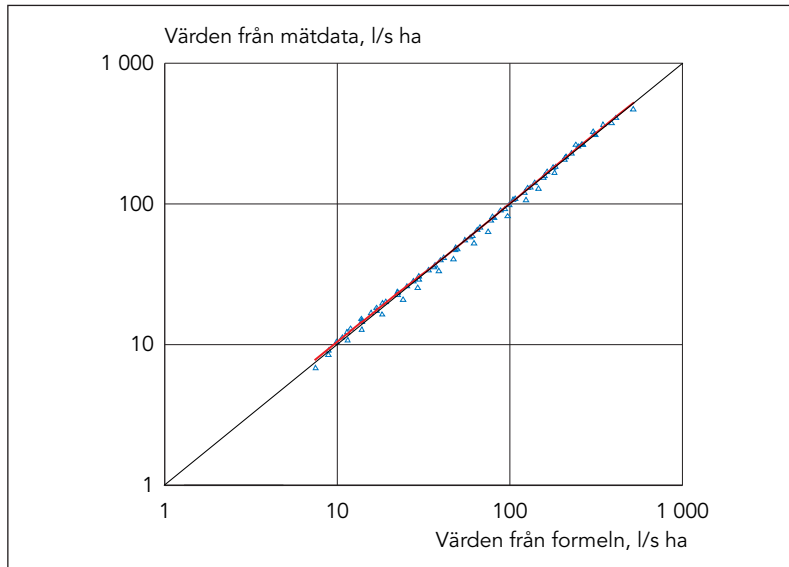
Figur 8-5 Anpassning till punkt i Sydtyskland.



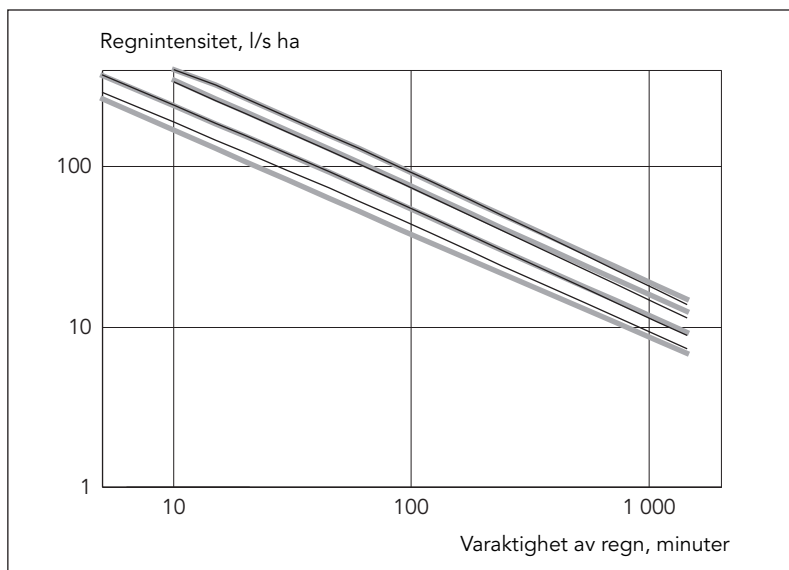
Figur 8-6 Anpassning till punkt i Sydtyskland. Återkomsttider analoga med Figur 8-2. Grå kurvor motsvarar mätdatas medelvärden och svart linje motsvarar formelns värde.

Exempel 4: Anpassning med blockregnstatistik för Österrike i gridpunkt nära Salzburg

För denna gridpunkt erhöles värdet 291,9 för α och 0,93 för κ , medan övriga parametrar hölls oförändrade. Den förklarade variansen är hög: 99,7 %. Följande två figurer illustrerar anpassningen.



Figur 8-7 Anpassning till punkt i Österrike, nära Salzburg.



Figur 8-8 Anpassning till punkt i Österrike, nära Salzburg. Återkomsttider analoga med Figur 8-2. Grå kurvor motsvarar mätdataas medelvärden och svart linje motsvarar formelns värde.

8.1 Sammanfattning: Regnintensitet – utländska orter.

Slutsats 1: Den utvecklade formeln fungerar utmärkt för att tolka förutom svenska orters blockregnsstatistik även utländska motsvarande värden.

Slutsats 2: Det är uppenbart att regnintensitetens klimat är på en högre nivå vid alla de undersökta orterna. För gridpunkten i Sydtyskland erhöles en ökning med ca 18 %, medan regnintensiteten i Ljubljana visade sig vara mer än 35 % högre.

Slutsats 3: Det dominerande utslaget i formeln när den matchas mot utländska data härrör från parametern α som är kopplad till molnens vertikala mäktighet. I klimat med varmare atmosfär kan luften innehålla större mängd vattenånga och därmed kan mera latent värme frigöras vid konvektionen och molnens vertikala mäktighet ökar.

Referenser

- Bengtsson, L. (2008). *Extrema dygnsregn och trender i Skåne och på västkusten*. VATTEN Vol. 64, 1, s. 31–39.
- Bergeron, T. (1928). *Über die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse*, I. Tile. (Three- Dimensionally Combining Synoptic Analysis, Part I.) Geofysiske Publikasjoner, 5 (1928): s. 1–111.
- Bergeron, Tor, (1959). *Methods in Scientific Weather Analysis and Forecasting: An Outline in the History of Ideas and Hints at a Program*. In The Atmosphere and Sea in Motion: Scientific Contributions to the Rossby Memorial Volume, edited by B. Bolin. New York: Rockefeller Institute Press, 1959.
- Dahlström, B. (1979). *Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys*. BFR. Rapport R18:1979.
- Dahlström, B. (2006). *Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk analys*. VA-Forsk rapport 2006-26.
- Falk, B. A. H:son (1951). *Utredning angående nederbördsförhållandena i Stockholm och Uppsala med särskild hänsyn till dimensionering av avlopp*. Höganäs avloppshandbok. Höganäs-Billesholms AB. 1965. Byggnadsdelegationen för Storflygplatsen, Stockholm.
- Hernebring, C. (2006). *10-årsregnets återkomst förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter*. VA-Forsk rapport 2006-04.
- Hernebring, C. (2008). *När regnet kommer – effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2008-17.
- Hernebring C. , Salomonsson M. (2009): *Extrema regn i Halmstad* (Extreme rainfall in Halmstad, Sweden). VATTEN 65:177–192. Lund 2009 (in Swedish).
- Palmén, E. and Newton, C. W. (1969). *Atmospheric Circulation Systems. Their Structural and Physical Interpretation*. Academic Press, New York, 1969. xviii + 606 pp. International Geophysics Series, vol. 13, s. 417.
- Svenskt Vatten, Publikation P90 (2004): *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*.
- Svenskt Vatten, Meddelande M134 (2007): *Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem*. Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen.
- Sutcliffe, R. C. & Forsdyke, D. (1950). *The Theory & Use of Upper Air Thickness Patterns in Forecasting*. QJRMetS/RMetS, 76.
- Svenskt Vatten, Publikation P90 (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*.
- Wern, L. & German, J. (2009). *Korttidsnederbörd i Sverige 1995 – 2008*. SMHI Rapport Meteorologi Nr 2009-139.

Bilaga A

Insamling av regnintensitetsdata från europeiska vädertjänster

1. Beskrivning av insamlade data från vädertjänsterna

I september 2009 skickades en begäran om statistik i form av regnintensitet till generaldirektörerna vid 26 Västeuropeiska vädertjänster. Begäran gällde att få blockregnsstatistik för några orter i respektive land, men även att få tillgång till rapporter med anknytning till regnintensitet. Utskicket gällde data för forskning och skickades med ordinarie post till länderna och ett önskemål var även, att data skulle vara utan kostnad. I Bilaga B återges det brev formulerat på engelska med bilagor, som skickades till länderna.

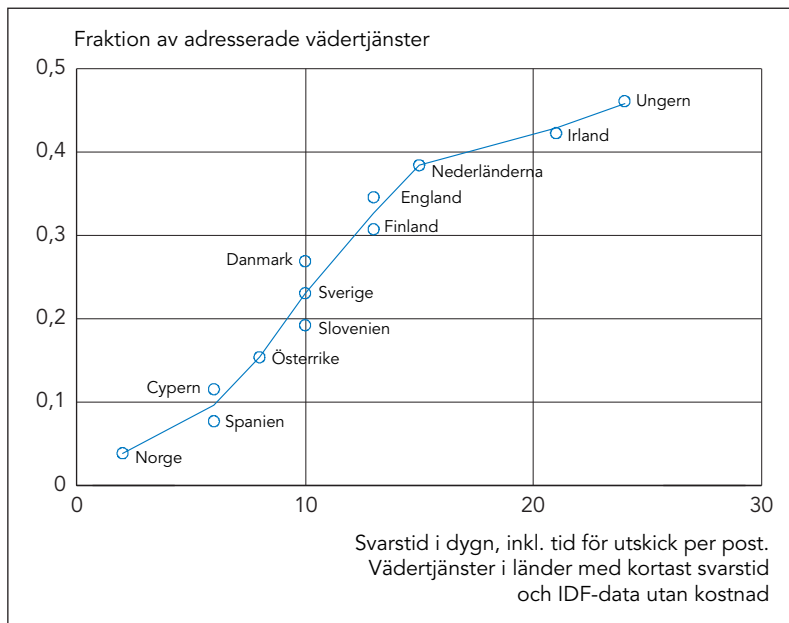
Huvudavsikten var att samla in blockregnsstatistik från europeiska länder för att tillgodose Projektet och dess möjliga efterföljare med information som kan utnyttjas vid studier rörande en tänkbar klimatförändrings effekt på dimensionerande regnintensitetsnivåer i Sverige. Det kan inte uteslutas att de klimatförhållanden som finns i exempelvis Centraleuropa på sikt kommer att beröra Sverige.

Det insamlade materialet i form av statistik över regnintensitet, blockregnsdata samt information om relevanta rapporter, framgår av Tabell A-1. Det är nödvändigt att studera kvaliteten av detta material och i en del fall behövs förnyade kontakter med respektive vädertjänst för att få tillgång till ytterligare data samt för att erhålla mer information om kvaliteten på det material som skickats.

2. Erfarenheter från förfrågan om blockregnsdata till vädertjänsterna

Meteorologin är känd för att representera den vetenskap som är bäst på att snabbt och effektivt utbyta de väderdata som insamlas globalt i nära realtid från rymden eller från atmosfärsskikt nära jordytan för att tillgodose i första hand behovet för att förutsäga vädrets utveckling. Detta effektiva datautbyte mellan vädertjänster/räknecentra motsvaras ofta inte av samma effektivitet när det gäller att tillgodose forskningens behov, där även historiska data är av betydelse. Emellertid har det ökade utnyttjandet av Internet medfört en positiv utveckling i och med att en ökande mängd klimatdata finns tillgängliga för nedladdning utan kostnad.

Fortfarande finns det problem när det gäller att tillgodose forskning med data av den typ som avser ländernas klimatdata från klimatstationer, t.ex. historiska data från täta nederbörds- eller temperaturnät i respektive land. Här saknas fortfarande i stor utsträckning snabb och kostnadsfri tillgång av klimatdata för forskarens behov.



Figur A-1 Illustration av förtjänstfulla vädertjänster, d.v.s. de snabbaste och bästa europeiska vädertjänsterna ur projektets perspektiv. Dessa vädertjänster hade kortast svarstid på den utsända förfrågan om IDF-data och dessutom levererade de IDF-data utan kostnad eller med endast leveranskostnad.

Figur A-1 ovan illustrerar vädertjänsternas svarstid i dygn efter utskicket av förfrågan. Svarstiden är räknad från den dag då förfrågan skickades ut med vanlig post. Postgången i olika länder kan därför ha påverkat resultatet något. Vädertjänsterna med längre svarstid redovisas ej här. Av de 26 vädertjänsterna var det 8 vädertjänster som ej svarade. Det känns angeläget att åter kontakta de vädertjänster som inte har reagerat över den utsända förfrågan om regnstatistik.

I föreliggande Projekt har data som är *bearbetade* data efterfrågats ("IDF-data" = Intensity-Duration-Frequency data). Det finns idag ingen skyldighet för vädertjänsterna att skicka sådana data till forskare utan kostnad.

3. Insamling av data från de 26 vädertjänsterna:

Erfarenheter och huvudintryck.

- Ett positivt intryck är att det idag finns en ideal klass med leverans i realtid/nära realtid med begärt format, heltäckande data, metadata och utan kostnad: Den norska vädertjänsten, Met.no, var främst i att tillgodose den efterfrågade informationen och ger en framtidsvision för Europas vädertjänster att sträva efter.
- Ett negativt intryck är att det fortfarande finns vädertjänster i Europa som responderar långsamt, d.v.s. efter längre tid än en månad, eller helt negligerar förfrågningar från forskare som önskar information.
- Den ökade lagringen och tillgänglighet av information på Internet är idag den utveckling som verkar ha störst potential att svara mot forskarnas/kundernas behov.

Huvudintrycket är att den förfrågan om data och information om regnintensitet som skett i Projektet på ett *glädjande* sätt påvisar att utvecklingen tycks gå mot att även den typ av data som efterfrågats, d.v.s. IDF-data, i stor utsträckning görs tillgänglig av vädertjänsterna snabbt och utan kostnad för forskare. Detta synes vara en naturlig utveckling, eftersom vädertjänsterna i stor utsträckning är finansierade av respektive lands skattebetalare.

Tabell A-1 Resultat av förfrågan om blockregnsstatistik ("IDF-data") från väderlekstjänster

Land	Antal IDF-kurvor	Ev. Kommentar	Rapporter / hänvisning till website / pdf-filer, samt ev. kommentarer
Cypern CMS	4	–	En rapport på grekiska är under utarbetande.
Danmark DMI	–	Hänvisning till Spildevandskomiteen och till DHI	http://ida.dk/netvaerk/fagtekniskenetvaerk/spildevandskomiteen/ http://svk28.env.dtu.dk/downloads.htm
England Met Office	7	–	Flood Estimation Handbook (5 volumes, Institute of Hydrology, Wallingford, 1999). Flood Studies Report (5 volumes, NERC, 1975)
Finland FMI	1	1 (avser flera stner)	Rapport på finska: Julkaisun sarja, numero ja raporttikoodi Raportteja -Reports 2007:4
Holland KNMI	1	–	http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/index
Grekland HNMS	–	10 stner årlig max. nederbörd	–
Irland Met-Éireann	3	–	Fitzgerald D.L.(2007): Estimation of Point Rainfall Frequencies. Met Éireann Irish Meteorological Service. Technical Note 61 Met Éireann, Glasnevin Hill, Dublin 9, Ireland UDC: 551.577.37 (415) October, 2007 ISSN 1393-905X.
Kroatien DHMZ	7	–	Gajic-Capka, M., 1991: Short-term precipitation maxima in different precipitation climate zones of Croatia, Yugoslavia. Int. J. Climatol., 11, 677–688. Gajic-Capka, Marjana, Zaninovic, Ksenija, 1999: Estimation of rainfall rates for the road design. Proceedings of the 4th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM 99), 13–17 November 1999, Norrköping, Sweden, CD-ROM, P027. Gajic-Capka, Marjana, 2000: Normal Length Of Maximum Short-term precipitation Series. 5th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, From Precipitation Measurements to Design and Forecasting Modelling, Preprints of papers, Ed. P. Burlando and Th. Einfalt, IHP-V / Technical Documents in Hydrology, UNESCO, 177–182. Totalt: lista med 9 referenser.
Lettland	–	–	Kan leverera IDF-kurvor mot betalning
Norge Met.no	87	–	01/2007 - Eli Alfsen: Ekstremnedbør beregnet fra serier med gridbasert arealnedbør (pdf-file). 02/2006 - Alfnes E and E J Førland: Trends in extreme precipitation and return values in Norway 1900–2004 (pdf-file). Engen-Skaugen, Torill: Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios (met.no report 15, 2004 - Climate). Lindholm, O., S. Endresen, S. Thorolfsson, S. Særgrov, G Jakobsen & L. Aaby (2008): "Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering." Norsk Vann Rapport 162/2008 (500 NKR) Med flera rapporter
Polen OSTOJSKI		Önskar betalning	–
(Schweiz) Météo-Swiss	–	Kan beräkna och leverera IDF-data mot betalning	Hänvisar till allmänna rapporter om översvämning i Schweiz.

Land	Antal IDF-kurvor	Ev. Kommentar	Rapporter / hänvisning till website / pdf-filer, samt ev. kommentarer
Slovenien EARS	11	–	(slovenska) http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/slo_vremenski_rekordi.pdf
Spanien AEMet	67	Självkostnadspris: 20 Euro för 67 orter	–
Sverige SMHI	–	Rapport med IDF-information samt automatstations data.	Wern L. & German J. (2009): SMHI: Rapport Meteorologi Nr 2009-139. Hänvisar även till Dahlström, B. (1979). Anm. Författaren till föreliggande rapport har arbetat på SMHI och har sedan tidigare fri tillgång till SMHIs blockregnsdata.
Tyskland DWD	1	Önskar betalning. Griddata finns beräknade för hela Tyskland	Levererade data från en gridpunkt utan kostnad
Ungern OMSZ	5	–	
Österrike ZAMG	>2000	IDF-statistik: Beräknade griddata över hela Österrike: 6 km x 6 km rutor, med varaktigheter 5 min – 6 dygn	Webadress: http://gis.lebensministerium.at/eHYD/frames/index.php?&gui_id=eHYD Gridvärden tillgängliga utan kostnad

Dessutom inkom ett tips. Olle Ljunggren, Göteborgs VA-verk: Diagram (ej digitalt) ur Réménéras: L'hydrologie de l'ingénieur (Eyrolles 1965). En kurva avser "Parisformeln" för 10-årsregnet.

Bilaga B

Request of data on Intensity-Duration-Curves, data on "IDF-curves"

Datum
2009-09-14

Our Reference: Project 29-103

To: European National Weather Services

Item: Request of data on Intensity-Duration-Curves, data on “IDF-curves”

Dear Sir,

The European continent is every year at some place or region subjected to large damages and costs caused by extreme rainfall and flooding. The problems are particularly large in urban areas where the urban sewer systems for economic reasons have not enough capacity. This fact leads to situations where impurities from industries and other sources are washed away in a not controlled way. In such cases there is also a danger for the fresh water supply.

The signals from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) are that the climate on our planet is changing and that the precipitation and temperature climate regimes will change. The fact that climatological observations and climate models indicate that climate is changing put pressure to improve our knowledge not least about the rainfall intensity climate.

For decision-makers and planners it is of great interest to get the best possible information regarding maximum rainfall in various regions and also best possible data on the frequency of intense rainfall.

At the Swedish Water & Wastewater Association, SWWA, an ongoing Project (Project 29-103) concerns the rain intensity climate in Sweden and its present and future connections with the climate in Europe. For this Project we request information as specified below.

Request of data on the rainfall intensity climate

The type of climate information we are requesting regards:

1. Intensity – Duration – Frequency data on rainfall (data on so-called “IDF-curves”) preferably for some locations in your country.

- In Enclosure 1 we present the type of information we request by an example from Stockholm. Preferably you can send the data as a Microsoft Excel file by email (or fill in data in the form found in Enclosure 2). If it is possible to obtain the corresponding information from your country by direct access through Internet, or by other means, please inform us of the Internet address or of some other alternative for dissemination of the requested information.

2. Besides data on IDF we are also interested in reports dealing with the subject of rainfall intensity and extreme rainfall in your country.

The requested information will be used only for research purposes and we want information that is free of cost.

Note. In connection with this request we apply quality control procedures and are consequently also tracing the level of data access for researchers now reached at European National Meteorological Services. The response time and also the quality of the response in terms of accessed information of relevance for this Project will be measured. This information will together with the research results be contained in the forthcoming report.

We want your information as soon as possible and preferably before October 10th

2009 and sent by email to: hans.backman@svensktvatten.se

We are looking forward to your respond with great interest!

Sincerely,

Hans Bäckman
PhD

Bengt Dahlström,
Project leader

Phone: +46 73 073 21 21

The Swedish Water & Wastewater Association, SWWA
Box 47607
SE-117 94 Stockholm, Sweden

Web adress: www.svensktvatten.se

Enclosure 1: Example

Enclosure 2: Empty form

Enclosure 1. Example

Rainfall statistics

Country **Sweden**
 Name of rainfall station **Stockholm**
 latitude **N 59° 19.929'**
 longitude **E 018° 03.836'**
 Height ab sea level (m) **10-20 m**
 Station years **44 years (data from 2 stations, 1984-2006)**
 Alternative a: Unit in mm rainfall ☐
 Alternative b: Unit: ls/ha*) ☒

Return period in years	Duration of rainfall								
	5 min	10 min	15 min	30 min	1 hour	2 hours	6 hours	12 hours	24 hours
0.5	103.0	76.1	60.6	38.4	24.6	15.5	7.6	4.6	2.7
1	135.6	101.3	81.0	51.9	32.6	20.3	9.5	5.7	3.4
2	174.7	132.3	106.5	69.3	43.0	26.4	11.9	7.1	4.2
5	239.6	184.7	150.2	100.8	61.6	37.3	15.9	9.4	5.5
10	301.1	235.5	193.1	133.2	80.6	48.4	19.8	11.5	6.7
20	375.9	298.3	247.0	175.5	105.3	62.8	24.5	14.1	8.2
50	500.3	404.9	339.6	251.8	149.5	88.4	32.3	18.4	10.6
100	618.3	507.9	430.4	330.2	194.7	114.5	39.9	22.5	12.8

*) ls/ha means litre(s) per second and hectare

Comment(s):.....

.....

.....

.....

.....

Enclosure 2.

Rainfall statistics

Country

Name of rainfall station

latitude

longitude

Height ab sea level (m)

Station years

Alternative a: Unit in mm rainfall

Alternative b:Unit: ls/ha*)

Return period in years	Duration of rainfall								
	5 min	10 min	15 min	30 min	1 hour	2 hours	6 hours	12 hours	24 hours
0.5									
1									
2									
5									
10									
20									
50									
100									

*) ls/ha means litre(s) per second and hectare

Comment(s):.....

.....

.....

.....

.....

Bilaga C

Tabell över regnintensiteter enligt den utvecklade formeln

Enhet l/s ha för olika blockregnsvaraktigheter 5 min – 1 440 min (1 dygn) och återkomsttider 0.5 år till 10 år.

Formeln: $R_{ij} \approx 190 \tau_i^{1/3} \ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^{0,98} + 2$

Återkomst- tid, år	Enhet	Varaktighet, minuter												
		5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	360	720	1440
0,5	l/s ha	116,8	85,2	67,8	56,9	43,9	36,3	31,2	27,6	20,9	17,2	8,4	5,6	4,0
0,5	mm	3,5	5,1	6,1	6,8	7,9	8,7	9,4	9,9	11,3	12,4	18,0	24,2	34,7
1	l/s ha	146,6	106,9	84,9	71,2	54,8	45,2	38,8	34,2	25,8	21,1	10,0	6,5	4,5
1	mm	4,4	6,4	7,6	8,5	9,9	10,8	11,6	12,3	13,9	15,2	21,6	28,2	39,2
2	l/s ha	184,2	134,1	106,5	89,2	68,5	56,4	48,4	42,6	32,0	26,1	12,1	7,7	5,2
2	mm	5,5	8,0	9,6	10,7	12,3	13,5	14,5	15,3	17,3	18,8	26,1	33,3	44,9
5	l/s ha	249,3	181,3	143,8	120,3	92,3	75,8	64,9	57,1	42,7	34,7	15,7	9,8	6,3
5	mm	7,5	10,9	12,9	14,4	16,6	18,2	19,5	20,6	23,1	25,0	33,9	42,1	54,8
10	l/s ha	313,5	228,0	180,6	151,0	115,7	95,0	81,3	71,4	53,3	43,1	19,2	11,8	7,5
10	mm	9,4	13,7	16,3	18,1	20,8	22,8	24,4	25,7	28,8	31,1	41,6	50,8	64,6



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se